

初植密度对小黑杨人工林生长和材质的影响 以及材质评价模型的建立

刘杏娥¹ 王小青² 江泽慧² 任海青² 费本华²

(1 国际竹藤网络中心 2 中国林业科学研究院木材工业研究所)

摘要:为研究不同初植密度对林木生长和材质的影响,该文以小黑杨为研究对象,分析了 3 种初植密度下林木生长特征和木材材质的差异,并建立了基于林木特征因子的材质评价模型。结果表明:初植密度对林木生长的影响不同,随着初植密度的减小,胸径、尖削度、径高比明显增大,枝下高降低,而树高受初植密度影响不大;初植密度对木材材质影响也不同,随着初植密度的减小,抗弯弹性模量(MOE)、抗弯强度(MOR)有降低趋势,而湿心材、边材面积、幼龄材、成熟材面积,以及幼龄材、湿心材比例均明显增大;基本密度不受初植密度的影响。回归分析表明,MOE、MOR、湿心材、幼龄材面积等材质指标可用树木特征因子及初植密度进行较好地预测,而木材密度的预测效果很差。

关键词:初植密度,林木特征因子,材质,模型

中图分类号:S781 文献标识码:A 文章编号:1000-1522(2007)06-0161-06

LIU Xing-e; WANG Xiao-qing; JIANG Ze-hui; REN Hai-qing; FEI Ben-hua. **Effects of planting density on tree growth and wood quality and modeling the wood quality of *Populus xiaohei*.** *Journal of Beijing Forestry University* (2007) 29(6) 161-166 [Ch., 21 ref.]

1 International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing, 100102, P. R. China;

2 Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, P. R. China.

To investigate the effects of planting density on tree growth and wood quality, the differences in tree growth characteristics and wood quality were analyzed for *Populus xiaohei* from three planting densities. Meanwhile, models for evaluating wood quality based on tree characteristics were established. Results indicated that planting density had various degrees of impact on growth characteristics. As planting density decreased, diameter at breast height (DBH), stem taper and the ratio of diameter to height increased obviously, whereas live branch height decreased. Tree height was independent of planting density. Similarly, planting density imposed different influences on wood quality characteristics: as planting density decreased, modulus of elasticity in bending (MOE) and modulus of rupture in bending (MOR) tended to decrease, while wet heartwood area, sapwood area, juvenile and mature wood area, as well as the proportion of juvenile wood and wet heartwood increased obviously. Wood basic density was basically independent of planting density. Regression analysis showed that, wood quality characteristics, eg MOE, MOR, wet heartwood area and juvenile wood area, could be estimated fairly well using selected tree characteristics and planting density as predictors, while wood basic density was hardly estimated from tree characteristics.

Key words planting density, tree characteristic factors, wood quality, model

初植密度是人工林培育中一个十分重要的技术环节,根据营林目的确定合理的初植密度是杨树集约栽培、定向培育的一项重要技术措施^[1]。初植密度的大小直接影响林木生长、林分郁闭、林木树冠大

小和激素分化等,因而最终影响木材的材质^[2]。一般而言,林分密度愈大,林木干形愈丰满;而林分密度愈稀,林木尖削度越大,易形成较大的树节、年轮宽度以及更多的幼龄材,因而选择合理的初植密度

收稿日期:2006-11-07

http://www.bjfujournal.cn

基金项目:国家自然科学基金重点项目(30230420)。

第一作者:刘杏娥,博士。主要研究方向:木材科学与技术。电话:010-62889024 E-mail:liouxe@forestry.ac.cn 地址:100091 北京颐和园后中国林业科学研究院木材工业研究所。

责任作者:江泽慧,教授,博士生导师。主要研究方向:木材科学与技术。电话:010-62889001 地址:同上。

极其重要^[1]。国内外学者对此进行了广泛的研究^[3-5],但研究的树种有限,多为针叶树种;另外,研究的材质范围较窄,很少涉及与木材质量和利用价值密切相关的树干质量以及幼龄材、湿心材含量等重要指标。为此,本文研究初植密度对“三北”地区耐寒、抗旱的小黑杨(*Populus × xiaohei*)林木生长和材质的影响,旨在为小黑杨树种的速生、丰产、优质、高效人工林培育提供最佳方案和合理利用杨木资源提供科学依据;另外,以林木特征因子和初植密度为自变量,建立木材材质的评价模型,探讨利用森林资源调查易于获取的测树因子评价立木材质的可行性。

1 材料与方法

1.1 试材采集

表1 试材野外采集记录

TABLE 1 Field records for the sample trees

初植密度	树龄/a	郁闭度	样木株数	胸径范围/cm	平均胸径/cm	平均树高/m	平均枝下高/m	平均冠幅/m	平均冠长/m	平均尖削度	径高比
A	29	0.7	14	14.1~24.2	19.53	18.07	11.27	3.19	6.80	0.73	1.08
B	29	0.7	13	18.6~26.2	22.60	17.75	10.87	3.63	6.88	0.78	1.27
C	29	0.7	9	24.0~28.6	26.87	17.74	9.47	5.14	8.28	0.98	1.51

注:径高比=胸径/树高;尖削度指0.5平均削度 $T_{0.5} = (D_0 - D_{0.5}) / L$,其中 D_0 为树根处直径, $D_{0.5}$ 为中央直径, L 为 D_0 、 $D_{0.5}$ 间的长度。

1.2 试样加工

分别于伐倒木胸高处(1.3 m)截取约10 cm厚圆盘和一长为2 m(1.3~3.3 m)的试样段,标出南北向及编号。在胸高处圆盘上截取一厚为2 cm的圆盘,用于测定湿心材面积、边材面积、幼龄材面积、成熟材面积。将2 m长的木段先锯解成4段50 cm的,再沿东西向从髓心中间剖开,依据纹理走向,锯解成35 cm×35 cm的毛坯,然后气干,制成标准试样,用于抗弯弹性模量(MOE)、抗弯强度(MOR)和顺纹抗压强度的测定。另于活立木胸高处南北方向过髓心钻取直径为5 mm的木芯1根,用于基本密度的测定。

1.3 试验方法

1) 基本密度:采用排水法测定^[6];

2) MOE、MOR:按照 GB 1927~1943—91^[7]在万能力学试验机上进行测试;

3) 心、边材面积、幼龄材面积、成熟材面积:将胸高处纤维长度径向变化曲线的转折点作为幼龄材和成熟材的划分界限,确定幼龄材的年龄^[8]。由图1可知,小黑杨纤维长度的变异曲线在12年处发生转折,故以12年作为小黑杨幼龄材和成熟材的划分界限。在刨光后的光洁圆盘上,用颜色笔勾勒出幼龄材的轮廓线,12年以内为幼龄材区域,12年以外为成熟材区域。另外,根据杨树湿心材的特点,在圆盘上用颜色笔勾勒出心材轮廓。所有圆盘采用

试验地位于山西省朔州市薛家庄国有林场,所采小黑杨于1977年造林,主为小黑杨,间混有群众杨,造林面积21.6 hm²。根据各种密度的生长状况,在林分中选取3种初植密度(2 m×5 m(A)、4 m×5 m(B)、4 m×10 m(C))的9个试验小区。每个重复设置标准地3块,做3个重复共设9块标准地,标准地面积为900 m²(30 m×30 m)。根据每木检尺的结果,在每种初植密度下,按照径阶大小及频率分布选取样木。测量林木胸径、树高、枝下高,东西、南北向冠幅等树木生长指标;对测量指标进行相应的变换,得到树冠高度、尖削度等生长因子指标,其数据统计情况见表1。

SigmaScan 图像分析软件测定木材生长量。

1.4 数据处理与分析

采用 SAS 统计软件对不同初植密度下的林木生长和材质差异进行方差分析;并以小黑杨林木特征因子(如胸径、树高、冠幅、冠长)为自变量,建立林木材质的回归模型。模型优劣的选择标准主要是决定系数 R^2 、均方误差平方根(RMSE)和预测残差平方和(PRESS)。

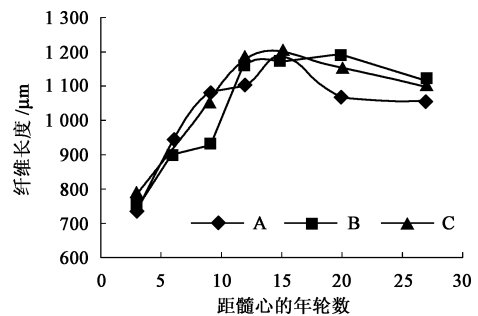


图1 不同初植密度小黑杨木材纤维长度径向变异

FIGURE 1 Radial variations of fiber length in different planting densities of *P. xiaohei*

2 结果与讨论

2.1 对林木生长的影响

2.1.1 胸径、树高

大量研究表明,胸径、树高与木材产品质量、产量及经济价值密切相关^[9-10]。如 Rado^[11]在研究辐射

松 (*Pinus radiata*) 时发现, 树木胸径越小, 其锯材中节子出现的频率越高; 而树木胸径越大, 意味着锯材中无缺陷材面积越大. Zhang 等^[12] 对黑云杉 (*Picea mariana*) 树干质量进行了研究, 结果表明, 冠幅、胸径和树高是决定树干质量的重要树木生长因子, 在森林经营中可以通过调节这些树木因子来控制树干质量. 因此, 研究初植密度对胸径、树高生长的作用规律, 无疑对树干质量的控制具有重要意义.

不同初植密度对小黑杨胸径、树高生长的影响情况见表 2. 方差分析表明, 3 种初植密度下, 小黑杨单株立木胸径存在明显的差异, 即随着初植密度的增加, 胸径呈现递减趋势. Duncan 检验进一步表明, 这种差异在两两初植密度间表现显著, 说明较小的初植密度因减少资源的竞争而促进树木胸径的生长. 这与前人的研究结果一致^[3-4]. 由图 2 可知, 不同初植密度, 立木径阶分布情况有很大差异. 随着初植密度的增加, 较小径阶的立木株数百分比增加, 较大径阶的株数百分比减少, 分布曲线的顶峰逐渐向左偏移. 其中, 初植密度为 B 的林分径阶分布可近似看作正态分布. 这也表明, 不同初植密度林分内立木竞争程度不同, 影响着林木个体大小、数量的分布, 从而最终影响到林分蓄积量、材种规格及其经济价值.

表 2 不同初植密度的林木生长和材质的方差分析

树干质量	初植密度			P
	A	B	C	
胸径/cm	19.53c	22.60b	26.87a	<0.000 1
树高/m	18.07a	17.75a	17.74a	0.612 9
尖削度	0.73b	0.78b	0.98a	<0.000 1
径高比	1.08c	1.27b	1.51a	<0.000 1
枝下高/m	11.27a	10.87b	9.47c	<0.000 1
基本密度/ (g cm ⁻³)	0.331a (3.43)	0.337a (3.67)	0.328a (2.14)	0.114 5
MOE/CPa	10.94a (7.94)	10.54a (6.88)	9.74b (4.63)	0.002 2
MOR/MPa	71.91ab (4.38)	74.14a (5.11)	70.17b (2.82)	0.021 7
边材面积/cm ²	90.98b	131.63a	140.80a	<0.000 1
湿心材面积/cm ²	140.79c	198.50b	303.45a	0.001 0
湿心材比例/%	59.98b	60.69b	68.13a	0.049 2
幼龄材面积/cm ²	177.96c	244.46b	368.67a	<0.000 1
成熟材面积/cm ²	53.81b	75.58a	85.66a	0.000 4
幼龄材比例/%	77.43b	73.88b	82.84a	0.000 6

注: 字母相同的表示用 Duncan 法检验在 0.05 水平上差异不显著, 括号内为变异系数 (%), P 为显著性.

初植密度对林分树高生长的影响, 不同的研究者在各自的试验条件下得到的结论有所不同^[13]. 孟宪宇^[14] 认为, 树高生长受林分密度影响较小, 在很大程度上决定于立地条件的优劣. 从表 2 可知, 虽然树高随着初植密度的增加呈现增大趋势, 但方差

分析显示差异不显著, 表明初植密度对树高生长影响较弱.

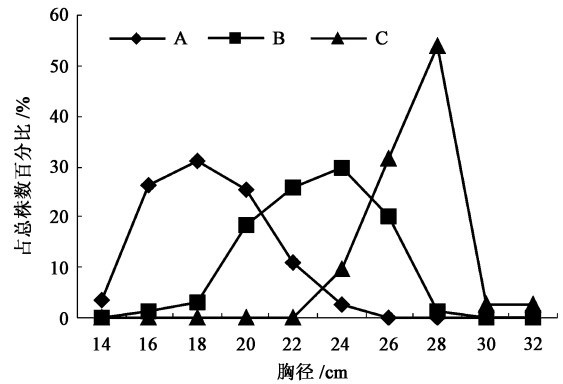


图 2 小黑杨不同初植密度立木径阶分布
FIGURE 2 Distribution of DBH over different planting densities of *P. xiaohai*

2.1.2 树干尖削度、径高比、枝下高

树干形质是树木在生长过程中, 受自身生长特性和环境条件影响而形成的. 树干形质不仅影响木材加工工艺和使用质量, 也对树木出材率、经济价值产生一定的影响^[9, 15]. 尖削度和径高比是重要的树干形质指标, 与木材质量及经济价值密切相关. 由表 2 知, 对于不同初植密度, 树干尖削度差异明显. 随着初植密度的减小, 树干尖削度由 0.73 增大到 0.98. 经方差分析表明, 初植密度 A、B 间差异不显著, 而 C 与 A、B 差异显著. 径高比随初植密度的变化趋势与尖削度类似, 也是随初植密度的减小而增大. 经方差分析表明, 各初植密度间径高比存在差异, 且两两间均显著. 枝下高的方差分析表明, 各初植密度两两间差异显著, 初植密度愈小, 枝下高愈低; 初植密度愈大, 自然整枝上升, 从而对形成良好的树干形质有利.

由以上分析可知, 初植密度对小黑杨树干圆满度影响较大, 树干圆满度因初植密度不同有明显的差异. 一般说来, 初植密度愈大, 树干圆满度愈大, 树干形质愈好. 这与黄宝灵等^[4] 对尾叶桉的研究、谌红辉等^[3] 对马尾松的研究结果一致. 因此, 对于小黑杨工业用材林应适当密植, 以降低树干尖削度和径高比.

2.2 对林木材质的影响

2.2.1 木材基本密度

木材密度是木材性质中最为重要的指标之一, 根据它可以估计木材的质量, 判断木材的工艺性质和物理力学性质^[6]. 初植密度对小黑杨木材基本密度的影响结果见表 2. 由表 2 可知, A、B、C 3 种初植密度下木材基本密度差异不大, 分别为 0.331、0.337、0.328 g/cm³. 从基本密度的变异系数看出, 初植密度大的林分, 木材基本密度变幅大; 而初植密度小的林分, 木材基本密度变幅小, 即木材质量稳定.

方差分析表明,各初植密度间木材基本密度无显著差异,表明初植密度对小黑杨基本密度影响不大.这与初植密度对湖南汉寿围湖区的 F-69 杨 (*P. deltooides* cv. F-69/55) 基本密度影响规律一致^[11];而刘盛全等^[16]对长江滩地 F-72 杨 (*P. euramericana* cv. -72/58)、-69 杨研究时发现,初植密度越大,木材基本密度越小,且不同初植密度间基本密度差异显著.

2.2.2 MOE、MOR

抗弯弹性模量 (MOE) 和抗弯强度 (MOR) 是木材重要的力学指标. 不同初植密度对木材力学性质有一定的影响. 由表 2 可知, MOE 最大值出现在初植密度 A 条件下,初植密度 C 的 MOE 最小, A 的 MOE 分别比 B、C 高 3.8% 和 12.3%. 方差分析表明,不同初植密度间木材 MOE 差异达到显著水平; MOE 在 A、B 间差异不显著,而 A、B 与 C 间差异显著. 3 种初植密度下 MOE 变异幅度分别为 7.94%、6.88% 和 4.63%. 由此看出,初植密度大的林分,木材 MOE 变幅大;而初植密度小的林分, MOE 变幅小,即木材质量稳定. 木材 MOE 随初植密度增加而增加的规律与刘盛全^[16]对长江滩地 F-69 杨的研究结果一致.

初植密度对 MOR 的影响规律与 MOE 有所不同,3 种初植密度下,初植密度 B 的 MOR 最大,为 74.14 MPa,分别比 A、C 高出 3.1% 和 5.7%. 方差分析表明,不同初植密度间木材 MOR 差异达到显著水平,初植密度最小的林分, MOR 也最小. 从各初植密度 MOR 变异系数看出,初植密度大的林分, MOR 变幅大;而初植密度小的林分, MOR 变幅小,这与 MOE 的变异情况类似. 总体而言,初植密度对木材力学性能影响较大. 初植密度愈大,树木生长可利用的环境空间愈小,光线、水分及营养的吸收受到限制,树木生长较慢,其力学性能相应较好.

2.2.3 湿心材、边材面积

杨树普遍存在湿心材问题. 湿心材的形成常伴随着高含水率和颜色加深现象,木材呈现深褐色或红色,故常称为“湿心材”. 与正常材相比,杨树湿心材含水率高、颜色深、抽提物多、pH 偏碱性,使木材物理、化学性质发生变化,影响木材的干燥、制材和胶合板的质量^[17]. 而树木边材因其颜色浅、渗透性较好常常作为木材工业的一个选择标准. 因而研究小黑杨心、边材面积对于正确制材、合理利用木材具有重要意义.

3 种初植密度的小黑杨边材、湿心材面积如表 2 和图 3 所示. 随着初植密度的减小,边材面积增大,初植密度 C 的立木边材面积均值比 A 大 54.8%. 方差分析表明,3 种初植密度间边材面积差异达极显

著水平;其中, A 与 B、C 间差异显著,而 B、C 间差异不显著. 边材面积随初植密度的减小而增大的规律与 Yang^[18]研究黑云杉和白云杉 (*Picea glauca*) 的结论一致,他发现较大的栽植空间能产生更多的边材面积. 早在 1932 年, Paul^[19]就提出边材面积 (宽度) 与栽植间距呈正相关性的观点.

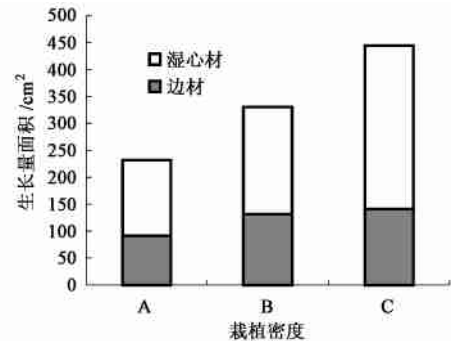


图3 不同初植密度间心、边材面积比较

FIGURE 3 Comparisons of sapwood and heartwood area among different planting densities

由表 2 可知,随着初植密度的减小,湿心材面积明显增大,初植密度为 C 的林木,湿心材面积分别比 A、B 高 115.5%、52.9%. 方差分析表明,3 种初植密度间湿心材面积差异达极显著水平,且两两间差异显著. 虽然心、边材面积均随初植密度的减小而增大,但湿心材面积比边材面积增加得快 (图 3),湿心材含量在增大. 方差分析表明,3 种初植密度间湿心材比例差异显著,随着初植密度的减小,湿心材比例增大. Sellin^[20]在研究欧洲云杉 (*Picea abies*) 心边材比例与树木直径、年龄和生长速率关系时发现,边材面积、心材面积随林木直径的增加而增加,且心材面积随直径增加得更快,这与本研究结果一致. 这说明,虽然栽植密度的减小能促进林木生长,提高木材生长量,但是湿心材含量也在增大,这无疑给小黑杨木材的加工利用带来不利影响. 因而,需要选择适宜的栽植密度以控制树干湿心材含量,提高木材质量和利用价值.

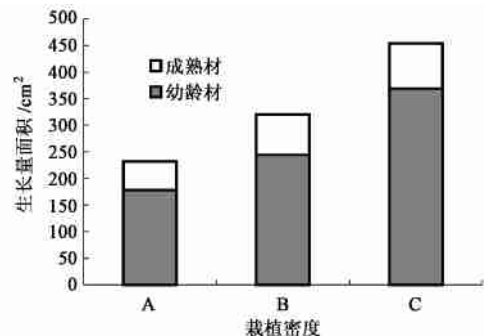


图4 不同初植密度间幼龄材、成熟材面积比较

FIGURE 4 Comparisons of juvenile and mature wood area among different planting densities

2.2.4 幼龄材、成熟材面积

幼龄材是靠近髓心,树木生长初期形成的木质

部. 与成熟材相比, 幼龄材材质较差, 如木材密度小、强度低, 干缩率大, 木质素含量高, 纤维素含量低, 材性变异范围大等^[21], 严重影响木材品质及其加工利用. 因此, 有必要研究初植密度对幼龄材生长的影响.

3 种初植密度的小黑杨幼龄材、成熟材面积如表 2 和图 4 所示. 与心、边材面积的情况相似, 幼龄材、成熟材面积也是随着初植密度的减小, 而呈现增大的趋势. 其中, 初植密度 C 的林木幼龄材面积分别比 A、B 高 107.2%、50.8%; 而 C 的成熟材面积分别比 A、B 高 59.2%、13.3%. 从幼龄材比例来看, 初植密度 C 要明显要高于 A 和 B, 表明初植密度越小的林分, 树木胸高处幼龄材含量越高. 方差分析表明, 3 种初植密度间, 幼龄材、成熟材面积及幼龄材比例差异极显著. 这说明, 初植密度对小黑杨林木幼龄材、成熟材面积均有较大的影响, 其中对幼龄材面

积影响更大. 较小的密度(栽植间距较大)促进了林木幼龄材、成熟材的生长, 特别是幼龄材增长得更快, 表现为树干中幼龄材含量增加. 因而, 对于小黑杨人工林, 选择适宜的初植密度可以控制幼龄材的生长.

2.3 材质评价模型的建立

为了揭示小黑杨内部材质与林木特征因子(如胸径、树高、冠幅、冠长)及初植密度的定量关系, 探讨用森林资源清查易于获取的树木特征因子来预测、评估小黑杨单株树木内部材质的可行性, 本文以树木特征因子为自变量, 建立了单株树木内部材质的经验回归模型. 由于树木特征因子指标较多, 其中包含作用很小的因子, 为此, 需要剔除那些对材质贡献不大的次要因子, 保留那些贡献较大的因子, 故而采用逐步回归的方法对模型中的自变量进行筛选. 通过大量的线性和非线性模型的拟合, 获得了较优回归模型列于表 3.

表 3 小黑杨材质评价的经验模型

TABLE 3 Empirical models for evaluating wood quality of *P. xiaohai*

材质评价指标	编号	数学模型	<i>P</i>	<i>R</i> ²	<i>RMS E</i>	<i>PRESS</i>
基本密度	1	$y = 0.21582 - 11.0463/S_D + 0.08657 D_H + 0.21799/C_L$	0.0896	0.181	0.011	0.00445
<i>MOE</i>	2	$y = 76.176 - 0.008 S_D - 3.798 H + 3.485 C_L + 0.132 DBH^2 - 2.984 DBH D_H$	<0.0001	0.682	0.388	5.722
<i>MOR</i>	3	$y = 22.634 - 0.0105 S_D + 4.548 H - 4.142 C_L + 3.511 1/S_T$	<0.0001	0.573	2.260	218.346
边材面积	4	$y = 2.43165 DBH^{1.26658} S_T^{0.47373}$	<0.0001	0.694	0.19555	1.47928
湿心材面积	5	$y = 0.60363 DBH^{2.73613} H^{-0.99066} S_T^{-0.48631}$	<0.0001	0.883	0.14941	0.83884
幼龄材面积	6	$y = 6.48227 DBH^{2.00915} H^{-0.95667} C_W^{0.09395}$	<0.0001	0.932	0.09959	0.39861
成熟材面积	7	$y = 0.04481 DBH^{2.33321} S_T^{-0.58552} C_W^{-0.05649}$	<0.0001	0.606	0.27503	3.07606

注: S_D 为初植密度, DBH 为胸径, S_T 为尖削度, H 为树高, C_L 为冠长, C_W 为冠幅, D_H 为径高比.

由表 3 可知, 小黑杨单株树木基本密度回归模型的 R^2 值很低, 只有 0.181, 而且模型在统计水平上不显著, 说明该模型只能解释基本密度变异的极小部分, 利用林木特征因子评价小黑杨木材基本密度的精度很差. 模型的决定系数很小, 意味着更好的解释变量没有被引入模型. 木材密度受木材内部构造的影响, 如早晚材细胞腔径大小、细胞壁厚、早晚材比例以及抽提物含量等, 因而, 模型中需要引入这些参数才能更好的解释基本密度的变异.

MOE、*MOR* 预测模型在统计水平上均显著, 其 R^2 值分别为 0.682 和 0.573, 表明模型分别能解释 *MOE*、*MOR* 68%、57% 的变异, 可见利用林木特征因子和初植密度能较好的预测小黑杨木材 *MOE*、*MOR* 性质. 胸径、树高、冠长、径高比、尖削度等参数可以通过常规的森林资源清查获取, 利用这些易于获取的测树因子可以对林木力学性质进行初步评估, 从而为小黑杨木材资源的合理利用提供基本依据.

林木胸高处湿心材、边材面积, 幼龄材、成熟材面积与林木特征因子间均有较程度的相关性, 采用幂函数方程能很好的拟合它们之间的关系, 决定

系数 R^2 为 0.606 ~ 0.932, 且所有模型都是统计显著的, 表明所选的树木特征因子能解释湿心材、边材面积, 幼龄材、成熟材面积的绝大部分变异. 与 *MOE*、*MOR* 模型相比, 这 4 个模型中引入的自变量较少, 主要为树高、胸径、尖削度和冠幅, 模型比较简洁, 利用较少的树木特征因子就能获得理想的拟合结果. 总体而言, 模型能较好地预测和评估小黑杨林木幼龄材、成熟材面积及湿心材、边材面积.

3 结 论

1) 初植密度对小黑杨林木不同生长指标影响不同, 初植密度对胸径的影响达极显著水平, 对树高影响较弱; 对尖削度、径高比、枝下高等树干形质指标的影响达极显著水平. 随着初植密度的减小, 林木生长量增大, 同时枝下高降低, 树干尖削度增大.

2) 初植密度对木材基本密度影响不大; 对 *MOE*、*MOR* 的影响达显著水平, 初植密度愈大, *MOE*、*MOR* 愈高; 对湿心材、边材面积的影响达极显著水平, 心、边材面积均随初植密度的减小而增大, 且湿心材面积增加得更快, 湿心材比例增大; 对幼龄

材、成熟材面积的影响达极显著水平,幼龄材、成熟材面积均随初植密度的减小而增大,且幼龄材面积增加得更快,幼龄材比例增大。

3) 利用林木特征因子评价小黑杨木材基本密度的效果不好;而 *MOE*、*MOR* 可以利用所选的林木特征因子以及初植密度进行较好的评价 (R^2 值分别为 0.682、0.573); 湿心材、边材面积,幼龄材、成熟材面积与树木特征因子间均有较程度的相关性 (R^2 为 0.606~0.932),模型能较好地预测和评估对木材加工利用有重要影响的湿心材和幼龄材生长量。

参 考 文 献

- [1] 鲍甫成,江泽慧. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
BAO F C, JIANG Z H. *Wood properties of main tree species from plantation in China* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1998.
- [2] 刘盛全. 不同栽植密度对意杨人工林木材性质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27 (4): 374-379.
LIU S Q. Effect of different spaces on wood quality in poplar [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2000, 27 (4): 374-379.
- [3] 谌红辉,丁贵杰. 马尾松造林密度效应研究[J]. 林业科学, 2004, 40 (1): 92-98.
CHEN H H, DING G J. Study on planting density effects for Masson pine plantation [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40 (1): 92-98.
- [4] 黄宝灵,吕成群,蒙钰钗,等. 不同造林密度对尾叶桉生长、产量及材性影响的研究[J]. 林业科学, 2000, 36 (1): 81-90.
HUANG B L, LÜ C Q, MENG Y C, et al. Effects of different planting densities on the growth, output and wood properties of *Eucalyptus urophylla* [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36 (1): 81-90.
- [5] YANG K C. Impact of spacing on width and basal area of juvenile and mature wood in *Picea mariana* and *Picea glauca*[J]. *Wood and Fiber Science*, 1994, 26 (4): 479-488.
- [6] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
CHENG J Q. *Textbook of wood technology* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1985.
- [7] 国家技术监督局. GB 1927~1943—91 木材物理力学性质试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
Chinese National Technology Inspection Department. GB 1927~1943—91 *Standard methods for determining wood physical and mechanical properties*[S]. Beijing: Standards Press of China, 1991.
- [8] 姜笑梅,殷亚方,浦上弘幸. 北京地区 T-214 杨树木材解剖特性与基本密度的株内变异及其预测模型[J]. 林业科学, 2003, 39 (6): 115-121.
JIANG X M, YIN Y F, HIROYUKI U. Variation within tree of wood anatomical properties and basic density of T-214 poplar in Beijing Area and their relationship modeling equations [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39 (6): 115-121.
- [9] KELLOGG R M, WARREN W G. Evaluating western hemlock stem characteristics in terms of lumber value [J]. *Wood and Fiber Science*, 1984, 16 (4): 583-597.
- [10] ZHANG S Y, TONG Q J. Modeling lumber recovery in relation to selected tree characteristics in jack pine using sawing simulator Optitek[J]. *Annals of Forest Science*, 2005, 62:219-228.
- [11] RADO G, ROBERT B, MARK K, et al. Incidence of defects by tree characteristics in radiata pine random-width boards [J]. *Forest Products Journal*, 2000, 50 (6): 83-89.
- [12] ZHANG S Y, LEI Y C. Quantifying stem quality characteristics in relation to initial spacing and modeling their relationship with tree characteristics in black spruce [J]. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2004, 21 (1): 1-9.
- [13] 孙时轩,沈国舫,王九龄,等. 造林学[M]. 2版. 北京:中国林业出版社, 1992.
SUN S X, SHEN G F, WANG J L, et al. *Silviculture* [M]. 2nd ed. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992.
- [14] 孟宪宇. 测树学[M]. 2版. 北京:中国林业出版社, 1996.
MENG X Y. *Forest mensuration* [M]. 2nd ed. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996.
- [15] STEBLE P H. *Factors determining lumber recovery in sawmilling* [R]. USDA: Forest Service, 1984.
- [16] 刘盛全,江泽慧,鲍甫成. 人工林杨树木材性质与生长培育关系的研究[J]. 林业科学, 2001, 37 (2): 90-97.
LIU S Q, JIANG Z H, BAO F C. The relationships between wood properties and forest cultures in plantation poplar [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37 (2): 90-97.
- [17] 祖勃荪. 国外对杨树湿心材的研究[J]. 林业科学, 2000, 36 (5): 85-91.
ZU B S. Foreign studies on wet heartwood of poplars [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36 (5): 85-91.
- [18] YANG K C, HAZENBERG G. Impact of spacing on sapwood and heartwood thickness in *Picea mariana* and *P. glauca* [J]. *Wood and Fiber Science*, 1992, 24 (3): 330-336.
- [19] PAUL B H. The relation of certain forest conditions to the quality and value of second-growth loblolly pine lumber [J]. *Journal of Forestry*, 1932, 30: 4-21.
- [20] SELLIN A. Sapwood-heartwood proportion related to tree diameter, age and growth rate in *Picea abies* [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, 24: 1 022-1 028.
- [21] 刘元. 幼龄材范围的确定及树木生长速率对幼龄材生长量的影响[J]. 林业科学, 1997, 33 (5): 418-424.
LIU Y. Differentiation of juvenile wood zone and effect of tree growth rate on increment of the juvenile wood [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1997, 33 (5): 418-424.

(责任编辑 李文军)